

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-223136

(43)Date of publication of application : 30.08.1996

(51)Int.Cl.

H04J 14/00

H04J 14/02

H04B 10/17

H04B 10/16

H04B 10/02

H04B 10/18

(21)Application number : 07-026967

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 15.02.1995

(72)Inventor : FUKUTOKU MITSUKAZU  
ODA KAZUHIRO  
TOBA HIROSHI

## (54) GAIN EQUALIZING METHOD FOR OPTICAL AMPLIFYING AND REPEATING SYSTEM

## (57)Abstract:

PURPOSE: To quickly arrange amplifiers so as to realize the most suitable gain equalization in the optical repeating system where plural optical amplifiers are arranged in series and plural wavelengths are multiplexed to perform amplification.

CONSTITUTION: A weighting coefficient (m) of equalization is obtained for a number (n) of optical amplifiers from a gain deviation  $\alpha_1$  to the average gain for each wavelength  $\lambda_1$  of input of optical amplifiers based on a maximum and a minimum of the gain deviation. The extent of degradation ( $S/N$ ) of optical  $S/N$  is obtained based on the coefficient. This work is performed for all values of (n) to obtain (n) and (m) which minimize the extent of degradation of optical  $S/N$ , thus determining the arrangement of optical amplifiers and gain equalizers in the optical amplifying and repeating system.

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-223136

(43) 公開日 平成8年(1996)8月30日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 J	14/00		H 0 4 B 9/00	E
	14/02			J
H 0 4 B	10/17			M
	10/16			
	10/02			

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平7-26967

(22) 出願日 平成7年(1995)2月15日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 福徳 光師  
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 織田 一弘  
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 鳥羽 弘  
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

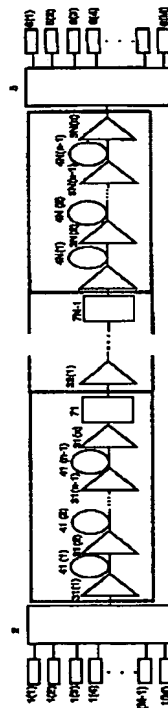
(74) 代理人 弁理士 井出 直孝 (外1名)

(54) 【発明の名称】 光増幅中継方式の利得等化方法

(57) 【要約】

【目的】 直列に複数の光増幅器が配列され、複数の波長を多重して増幅する光中継方式において、最適な利得等化が得られる増幅器の配置を早く得られるようにする。

【構成】 光増幅器の入力の各波長 $\lambda_i$ についての平均利得に対する利得偏差 $\alpha_i$ から、利得偏差の最大と最小に基づいて、等化の重み付け係数 $m$ を光増幅器数 $n$ に対して求める。そしてこんどはこの係数に基づいて光 $S/N$ の劣化量 $(\Delta S/N)$ を求める。この作業をすべての $n$ について行って、最小の光 $S/N$ の劣化量にする、 $n$ および $m$ とを求めて光増幅中継方式の光増幅器と利得等化器との配置を決める。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の波長が多重化された光信号の増幅中継を行う光増幅中継方式であって、  
 複数の光増幅器が直列に配置され、 $n$  個の光増幅器を1組として各組ごとに一つの光等化手段が挿入された光増幅中継方式の利得等化方法において、  
 光信号雑音比劣化量を $\Delta SN$ とし、光増幅器の増幅する所定波長帯域の平均利得に対する所定の波長の利得比を

$$m = n - 1 - \left\{ \frac{\log((1 - \alpha_{\min})(1 - \alpha_{\max}^n)) - \log((1 - \alpha_{\max})(1 - \alpha_{\max}^n))}{\log(\alpha_{\max}) - \log(\alpha_{\min})} \right\}$$

次いで上限値以下の $n$ について、求められた $m$ とによって前記 $\Delta SN$ を求め、光増幅器の $\Delta SN$ を最小とする $n$ および $m$ によって、光増幅器および光等化手段の組み合わせを与えることを特徴とする光増幅中継方式の利得等化方法。

【請求項2】 複数の波長が多重化された光信号の増幅中継を行う光増幅中継方式であって、  
 複数の光増幅器が直列に配置され、 $n$  個の光増幅器を1組として各組ごとに一つの光等化手段が挿入された光増幅中継方式の光増幅器および光等化手段の配置方法において、  
 光信号雑音比劣化量を $\Delta SN$ とし、光増幅器の増幅する所定の波長帯域の平均利得に対する所定の波長の利得比を利得偏差 $\alpha$ 、所定の波長帯域での利得偏差 $\alpha$ の最小値を $\alpha_{\min}$ 、最大値を $\alpha_{\max}$ とするときの、前記光増幅器と前記光等化手段の組み合わせの各組の先頭の光増幅器に入力する各波長の光入力パワー $P_{in}$ の比を決定する重み付け係数 $m$ について、

【数1】によって与えられた $n$ に対する $m$ を求める第一算出工程と、  
 $n$ と $m$ とから $\Delta SN$ を求める第二算出工程と、  
 とりうる $n$ についてこの第一および第二算出工程を繰り返す手段とを備え、  
 算出された $\Delta SN$ の最も小さい結果の $n$ の値に基づいて光増幅器と光等化手段の組み合わせを与える光増幅中継方式の光増幅器および光等化手段の配置方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光波長（周波数）多重通信システムに利用する。本発明は、特に、光増幅器を多段に接続し、光波長（周波数）多重信号を一括増幅して伝送する際に、光増幅器の利得偏差を光利得等化器を用いて等化する光増幅中継方式の光増幅器および光利得等化器の配置方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 図6は、従来の利得等化器を用いない、

$$P_i^k = ((G_i)^k / (G_0)^{k-1}) P_{in}$$

利得偏差 $\alpha$ 、所定の波長帯域での利得偏差 $\alpha$ の最小値を $\alpha_{\min}$ 、最大値を $\alpha_{\max}$ とするときの、前記光増幅器と前記光等化手段の組み合わせの各組の先頭の光増幅器に入力する各波長の光入力パワー $P_{in}$ の比を決定する重み付け係数 $m$ を、それぞれとりうる $n$ に対して次の【数1】式によって求め、

## 【数1】

光波長多重通信システムの光増幅中継方式を示すブロック図である。

【0003】 この図6において、符号1および2は送信側、符号3および4は光中継区間、符号5および6は受信側を示す。すなわち、符号1（1）～1（M）は、それぞれ波長多重のための波長の異なる光信号を送信するための光送信器、符号2は、この送信器1（1）～1（M）から送信されたそれぞれの波長の光信号を合波するための合波器である。光中継区間の3（1）～3（K）は伝送路の損失を補償するための光増幅器であり、4（1）～4（5）は光信号を伝送するための光ファイバである。光増幅器としては、ここでは希土類をドープした光ファイバ増幅器を用いる全光増幅器を想定することができるが、他の方式でもよい。受信側の符号5は、合波されて伝送された送信器1（1）～1（M）の光信号を分波する分波器であり、符号6（1）～6（M）は、この分波器5で分波された光信号を受信する光受信器である。

【0004】 図6に示す光増幅器を用いた多中継伝送系の光増幅器による信号の劣化は主にASE（自然放光雑音）光と信号光のビート雑音に起因する。そのため、以下では信号劣化を見積もるために光S/N劣化について検討する。

【0005】 最初に、図6の伝送系での光増幅器3（K）の出力での光S/Nについて検討する。光送信器1（1）～1（M）の光出力は等しく、光信号の1波長あたりのパワーを $P_{in}$ とし、各光増幅器3（1）～3（K）の雑音指数は、波長依存性はなく $NF_0$ であるとし、光ファイバ4（1）～4（K）の全ての中継区間で1中継区間当たりの伝送損失および波長多重信号の各光増幅器3（1）～3（K）の平均利得は等しく、これを $G_0$ とし、波長 $\lambda_i$ の信号の利得を $G_i$ とし、光増幅器3（1）～3（K）で利得は変化しないと仮定する。すると、光増幅器3（K）の出力で波長 $\lambda_i$ の光信号パワー $P_i^k$ は

$$(1)$$

となる。光増幅器3(K)の出力で波長 $\lambda_i$ における光帯域 $B_{opt}$ 内のASE光のパワー $P_{ASE_i}^k$ は、プランク定数を $h$ 、光周波数を $\nu$ とすると次の第2式および第

$$P_{ASE_i}^k = \sum_{j=1}^k \left( \frac{G_i}{G_0} \right)^{j-1} P_{ASE_i} \quad (2)$$

$$P_{ASE_i} \cong N F_0 G_i h \nu B_{opt} \quad (3)$$

ここで、光パワー $P_{ASE_i}$ は、光増幅器1段当たりの自然放光雑音(ASE)パワーである。第2および第3式により波長 $\lambda_i$ での光S/N(SN)は次の第4およ

$$SN_i^k = \frac{G_0 (\alpha_i)^k P_{in}}{\sum_{j=1}^k (\alpha_i)^{j-1} P_{ASE_i}} = \frac{G_0 \alpha_i^k P_{in}}{\frac{1 - \alpha_i^k}{1 - \alpha_i} P_{ASE_i}} \quad (4)$$

$$\alpha_i = G_i / G_0 \quad (5)$$

ここで、 $\alpha_i$ は、波長 $\lambda_i$ の信号の光増幅器の平均利得 $G_0$ からの利得偏差を表している。

【0008】次に、利得に波長依存性のない理想的な光

$$SN_0 = (G_0 P_{in}) / (K P_{ASE_0}) \quad (6)$$

となる。ここで、 $P_{ASE_0}$ は、利得 $G_0$ でのASE光パワーであり、ほぼ $N F_0 G_i h \nu B_{opt}$ である。第6式の理想的な光増幅器を用いた場合の光S/Nを基準とした、利得偏差のある場合の光S/Nの劣化量( $\Delta SN$ )

$$\Delta SN = \frac{SN_0}{SN_i^k} = \frac{G P_{in}}{K P_{ASE_0}} \cdot \frac{\frac{1 - \alpha_i^k}{1 - \alpha_i} P_{ASE_i}}{G_0 \alpha_i^k P_{in}} = \frac{(1 - \alpha_i^k)}{K \alpha_i^{k-1} (1 - \alpha_i)}$$

$$\left( \because \frac{P_{ASE_i}}{P_{ASE_0}} = \frac{G_i}{G_0} = \alpha_i \right) \quad (7)$$

この第7式で得られた結果を図7に示す。このときの光増幅器の接続数 $K$ は24である。利得偏差 $\alpha$ が-0.5dBのとき、光S/Nの劣化量は7dB程度あり、理想的な増幅器と比較し、伝送距離を1/4以下に制限し、問題となっていた。

【0010】次に、光増幅器の利得偏差を利得等化器で等化した場合、利得等化器を挿入することにより、光S/N劣化が改善され、信号の劣化を少なくしているが、利得偏差を等化する際に指針はなく、試行錯誤的に信号の劣化を少なくするように利得等化を行っていた。このため、最適な利得等化が得られる方式を決定するまで時間がかかる問題があった。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】上述のように、従来の技術では、利得等化器を用いた光増幅器の利得偏差を等化する際に指針はなく、試行錯誤的に利得等化器の挿入位置、等化量を決定していたため、最適な利得等化が得

3式のように表すことができる。

【0006】

【数2】

び第5式で表される。

【0007】

【数3】

増幅器を同様に $K$ 台多段に接続した場合と比較する。このときの光S/Nは

は次の第7式で表すことができる。

【0009】

【数4】

られる諸元を決定するに時間がかかる問題があった。また、これにより光増幅中継方式の方式設計の作業工数を低減できない問題があった。

【0012】本発明の目的は、最適な利得等化器の挿入位置、等化量を決定するまでの作業時間を短縮し、光増幅中継方式の設計作業を軽減することを目的とするとともに最適等化がされ信号雑音比劣化の小さい光波長多重通信システムを提供することを目的とする。

【0013】本発明の他の目的は、光波長多重通信システムでの光増幅器および光利得等化器の配置決定作業負担を低減し、光波長多重通信システムの設計手順を方式化することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明の第一の観点は、複数の波長が多重化された光信号の増幅中継を行う光増幅中継方式であって、複数の光増幅器が直列に配置され、 $n$ 個の光増幅器を1組として各組ごとに一つの光等

化手段が挿入された光増幅中継方式の利得等化方法において、光信号雑音比劣化量を $\Delta SN$ とし、光増幅器の増幅する所定波長帯域の平均利得に対する所定の波長の利得比を利得偏差 $\alpha$ 、所定の波長帯域での利得偏差 $\alpha$ の最小値を $\alpha_{\min}$ 、最大値を $\alpha_{\max}$ とするときの、前記光増幅器と前記光等化手段の組み合わせの各組の先頭の光増幅器に入力する各波長の光入力パワー $P_{in}$ の比を決定する重み付け係数 $m$ を、それぞれとりうる $n$ に対して次の〔数1〕式によって求め、次いで上限値以下の $n$ について、求められた $m$ とによって前記 $\Delta SN$ を求め、光増幅器の $\Delta SN$ を最小とする $n$ および $m$ によって、光増幅器および光等化手段の組み合わせを与えることを特徴とする。

【0015】本発明の第二の観点は、光増幅中継方式の光増幅器および光等化手段の配置方法にかかるもので、光信号雑音比劣化量を $\Delta SN$ とし、光増幅器の増幅する所定の波長帯域の平均利得に対する所定の波長の利得比

$$P_{in_i} = (G_i / G_0) \cdot P_{in}$$

上記波長 $\lambda_i$ の受信器での光信号パワー $P_i$ とASE光パワー $P_{ASE_i}$ の比である光 $S/N$ を $SN_i$ とし、次の

$$SN_i = P_i / P_{ASE_i}$$

利得偏差のない理想的な光増幅器を用い、同じ距離を伝送した場合の光 $S/N$ を $SN_0$ とし、波長 $\lambda_i$ の利得偏差 $\alpha_i$ を次の第11式(5式と同じ)で表される平均利得 $G_0$ からの利得偏差とし、光増幅器数 $n$ を2台の光利得等化器の間の光増幅器の台数、つまり利得等化器の挿

$$\Delta SN = SN_0 / SN_i = (1 - \alpha_i^n) / \{ (n-1) \alpha_i^{(n-1)} (1 - \alpha_i) \}$$

光増幅器で利得の小さい信号は、光増幅器で多段に増幅されることにより、光パワーが減少する。このため、光増幅器への入力パワーが減少し、光 $S/N$ が劣化する。これを抑圧するために、第8式のように、あらかじめ1段目の光増幅器への各波長の入力パワーをそれぞれの利得偏差の逆数の $m$ 乗で重み付けを行う。実際には、利得の最大と最小の波長で光 $S/N$ 劣化を等しくするように1段目の光増幅器への入力光パワーの重み付けを表す係数 $m$ を決定する。

【0019】この重み付け係数 $m$ を決定したうえで、利得等化器の挿入間隔を表す係数 $n$ を第10式の光 $S/N$ の劣化量を最小とするように決定する。

【0020】このようにして光増幅器と利得等化器の配置が決定される。

【0021】ここで、図2に、第10式の重み付け係数 $m$ を変化させた場合の光 $S/N$ 劣化を示す。この図2では、光利得等化器間隔を5、重み付け係数 $m$ を0.5から3.5まで変化させた場合、波長多重された信号の中で光 $S/N$ 劣化が最悪の波長は、利得が最大または最小の信号のいずれかになる。利得が最大と最小の信号の光 $S/N$ 劣化を等しくするように重み付け係数 $m$ を決定することにより、信号波長帯域全域にわたり、光 $S/N$ 劣

化を緩和することができる。を利得偏差 $\alpha$ 、所定の波長帯域での利得偏差 $\alpha$ の最小値を $\alpha_{\min}$ 、最大値を $\alpha_{\max}$ とするときの、前記光増幅器と前記光等化手段の組み合わせの各組の先頭の光増幅器に入力する各波長の光入力パワー $P_{in}$ の比を決定する重み付け係数 $m$ について、〔数1〕によって与えられた $n$ に対する $m$ を求める第一算出工程と、 $n$ と $m$ とから $\Delta SN$ を求める第二算出工程と、とりうる $n$ についてこの第一および第二算出工程を繰り返す手段とを備え、算出された $\Delta SN$ の最も小さい結果の $n$ の値に基づいて光増幅器と光等化手段の組み合わせを与えることを特徴とする。

【0016】

【作用】まず、1段目の光増幅器への全光入力のパワーを $P_{in}$ 、波長 $\lambda_i$ の光信号の1段目の光増幅へを $P_{in_i}$ を次の第8式のように、 $m$ を各波長の1段目の光増幅への入力パワーの比を決定する重み付け係数として与え、

(8)

第9式のように定義する。

【0017】

(9)

入間隔を表す係数とし、理想的な光増幅器を用いた場合からの光 $S/N$ の劣化を $\Delta SN$ とすると、光 $S/N$ の劣化を次の第10式で表すことができる。

【0018】

(10)

化を緩和することができる。 $n=5$ では $m=2$ がこれに適合する。さらに $n$ の値を変化させて光 $S/N$ の劣化量を最小とするように光利得等化器の挿入位置を表す係数 $n$ を求めることにより、光 $S/N$ 劣化の最悪値を緩和することができる。

【0022】本発明は従来の技術と比較し、利得等化の指針を得ることができるため、最適な利得等化が得られる組み合わせの光波長多重通信システム構築にかかる時間を短縮することが可能である。

【0023】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例を説明する。

【0024】図1は、本発明の対象とする利得等化器を用いて利得等化を行う光波長多重通信システムの構成を示すブロック図である。

【0025】この光波長多重通信システムは、送信側、光中継区間、受信側で構成されている。送信側は、それぞれ波長の異なる光信号を送信するための複数の光送信器1(1)～1(M)と、光送信器(1)～1(M)から送信された光信号を合波するための合波器2とを備える。受信側は、合波され伝送された光信号を分波するための分波器5と、分波されたそれぞれの光信号を受信す

るための複数の光受信器6(1)~6(M)を備える。光中継区間は、光信号を送信するための光ファイバ41(1)~4N(n-1)、光増幅器31(1)~3N(n)、波長多重された光信号のそれぞれの波長において所望の減衰量を与えることができる光利得等化器71~7N-1で構成される。ここで、光ファイバ41(1)~4N(n-1)は全て同じ距離であるとする。また、光利得等化器71~7N-1は、光フィルタや、光合分波器と光減衰器とを組み合わせることで、所望の波長に所望の減衰量を与える。ここで、光利得等化器71~7N-1は、光増幅器n台ごとに1台、n台目の光増幅器31(n)、32(n)・・・の直後に挿入するとし、光増幅器または各利得等化器の減衰量は各光信号のパワーを光増幅器31(1)(先頭的光増幅器)への入力パワーと等しくするものとする。したがって、2台の光利得等化器の間にはn台の光増幅器とn-1区間の光ファイバがあり、n台の光増幅器とその最後尾の光利得等化器とが1組となった構成である(ただし、受信側に接続される最後の組では、最後尾で光利得等化を行う必要はないため、光利得等化器は挿入されていない)。

【0026】ここで、本発明による光波長多重通信システムの光増幅器と光利得等化器とを組み合わせるシステ

$$P_{in_i} = \alpha_i^{-m} P_{in}$$

ここで

$$\alpha_i = G_i / G_0$$

である。mは1段目の光増幅器31(1)への入力光パワーの重み付けを表す係数であり、以下では重み付け係数とよぶ。このとき光増幅器31(n)の出力で、波長 $\lambda_i$ の信号パワー $P_i$ とその波長での光帯域 $B_{opt}$ 内

$$P_i^m = G_0 (\alpha_i)^m P_{in_i} = G_0 (\alpha_i)^{n-m} P_{in} \quad (14)$$

【0031】

$$P_{ASE_i}^n = \sum_{j=1}^n (\alpha_i)^{j-1} P_{ASE_i} = \frac{1 - \alpha_i^n}{1 - \alpha_i} P_{ASE_i} \quad (15)$$

光増幅器31(n)の出力で波長 $\lambda_i$ の光S/Nは次の第16式のようにになる。

$$SN_i^n = \frac{P_i^n}{P_{ASE_i}^n} = \frac{G_0 (\alpha_i)^{n-m} P_{in}}{\sum_{j=1}^n (\alpha_i)^{j-1} P_{ASE_i}} = \frac{G_0 (1 - \alpha_i) \alpha_i^{n-m} P_{in}}{(1 - \alpha_i^n) P_{ASE_i}} \quad (16)$$

次に利得に波長依存性のない理想的な光増幅器を用いた理想状態と比較することを考える。図1のように光増幅器n台ごとに光利得等化器を挿入した場合、伝送区間はn-1であるので、同じ伝送距離での比較を行うために、第6式で与えられる利得に波長依存性のない理想的な光増幅器をn-1台多段に接続した場合の光S/Nと比較する。理想的な光増幅器を用いたとき、各波長の利

得を構築設計する手順を具体的に説明する。

【0027】まず、最初に光利得等化器を用いた場合の光S/N劣化について考える。図1の伝送系での光増幅器31(n)の出力で光信号とASE光パワーについて考える。ここでは、光増幅器31(1)~3N(n)の雑音指数は波長依存性はなく $NF_0$ であるとし、4

(1)~4(K)の全ての中継区間で1中継区間当たりの伝送損失と波長多重信号の全光増幅器の平均利得は等しくて $G_0$ であり、波長 $\lambda_i$ の信号の利得を $G_i$ とする。なお、伝送損失が $G_0$ 以下の区間は、光減衰器により伝送損失を $G_0$ とし、 $G_i$ は全中継区間の平均値をとってもよい。なお、伝送損失が $G_0$ を越える区間はないものとし、 $G_i$ は光増幅器ごとに極端な違いはないものとする。

【0028】光増幅器で利得の小さい信号は光増幅器で多段に増幅されることにより、光パワーが減少する。このため、光増幅器への入力パワーが減少し、光S/N(信号雑音比)が劣化する。これを抑えるために、第8式と同様に、第1段目の光増幅器31(1)への入力光パワーを光増幅器の利得偏差の-m乗の比となるように次の第12式のように与える。

【0029】

(12)

(13)

のASE光のパワー $P_{ASE_i}$ は、第1式および第2式より次の第14式および第15式のようにになる。

【0030】

【数5】

【0032】

【数6】

得は等しいので、入力光パワーに重み付けの必要はなく、第6式は、Kを(n-1)に置き換えたものになる。この光S/Nを基準にした場合の光S/Nの変化量(劣化量) $\Delta SN_0$ は以下の第17式で表される。

【0033】

【数7】

$$\Delta SN_n = \frac{SN_0}{SN_i^n} = \frac{G_0 Pin}{(n-1) P_{ASE0}} \cdot \frac{(1 - \alpha_i^n) P_{ASE_i}}{G_0 (1 - \alpha_i) \alpha_i^{n-m} Pin}$$

$$= \frac{(1 - \alpha_i^n)}{(n-1) \alpha_i^{n-1-m} (1 - \alpha_i)}$$

$$\left( \because \frac{P_{ASE_i}}{P_{ASE0}} = \frac{G_i}{G_0} = \alpha \right) \quad (17)$$

光利得等化器71の出力では、波長 $\lambda_i$ の光信号パワーは第12式で与えた光増幅器31(1)への入力と等しくするので、第14式に利得等化器で、 $G_0 \alpha_i^n$ の損失を与えることにより、第18式ようになる。また、

$$Pin_i^n = (\alpha_i)^{-n} Pin = Pin_i$$

【0035】

$$P_{ASE_i}^n = \frac{1}{G_0} \sum_{j=0}^n (\alpha_i)^{-n+j-1} P_{ASE_i}$$

光利得等化器71の出力では波長 $\lambda_i$ の光S/N劣化は第17式と等しくなる。

【0036】同様に、光増幅器32(n)の出力で、波長 $\lambda_i$ の光信号パワーは次の第20式で表すことがで

$$P_i^n = G_0 (\alpha_i)^n Pin_i = G_0 (\alpha_i)^{n-m} Pin \quad (20)$$

【0038】

$$P_{ASE_i}^n = \sum_{j=1}^n (\alpha_i)^{j-1} P_{ASE_i}$$

光増幅器32(n)の出力までには、伝送区間は2(n-1)区間あるので、同様に利得に波長依存性のない理想的な光増幅器を用い、2(n-1)区間、信号を伝送

$$\Delta SN_{2n} = (1 - \alpha_i^n) / \{ (n-1) \alpha_i^{n-1-m} (1 - \alpha_i) \}$$

第17式と第22式は等しく、光利得等化器を用いた場合、光S/Nの劣化は、1台目の光利得等化器出力での劣化と第2台目以降の光利得等化器の出力での光S/N劣化は等しい。よって、さらに多段に光増幅器を接続し

$$\Delta SN = (1 - \alpha_i^n) / \{ (n-1) \alpha_i^{n-1-m} (1 - \alpha_i) \}$$

次に本発明の特徴である第10式の光S/N劣化を最小にする、光利得等化器の挿入間隔を表す係数nとあらかじめ与える各信号の1段目の光増幅器31(1)への入力パワーの比を表す係数mを定める手法について説明する。

【0041】まず、重み付け係数mを定める手法について考える。重み付け係数mを変化させたときの、光S/N劣化を図2に示す。この図2では、光利得等化器間隔nを5、重み付け係数mを0.5から3.5まで変化させた場合を示す。例えば、利得偏差は±1dBとする

その波長での光帯域 $B_{opt}$ 内のASE光パワーも第15式に $G_0 \alpha_i^n$ の損失を与えることにより、第19式のようなになる。

【0034】

(18)

【数8】

(19)

き、またその波長での光帯域 $B_{opt}$ 内のASE光のパワーは第21式のようなになる。

【0037】

【数9】

(21)

した場合の光S/Nと比較すると、光S/Nの劣化量 $\Delta SN_{2n}$ は以下の第22式のようなになる。

【0039】

(22)

た際にも光利得等化器の出力では最初の光利得等化器までの劣化を維持し、光S/N劣化は次の第23式で与えられる。

【0040】

(23)

と、図により波長多重された信号の中で光S/N劣化が最悪の波長は、利得が最大または最小のいずれかになる。利得が最大と最小の波長で光S/N劣化を等しくするように利得等化器の等化量を表す係数mを決定することにより、信号波長全域にあたり光S/N劣化を緩和することができる。

【0042】具体的には、波長多重された光信号の中で利得が最大の波長を $\lambda_{max}$ 、最小の波長を $\lambda_{min}$ とし、それぞれの波長での利得を $G_{max}$ 、 $G_{min}$ での光S/Nの劣化量 $\Delta S/N$ を等しくする重み付け係数mは、挿入

間隔 $n$ を与えた場合、第23式を用いて〔数1〕式（第24式）で与えられる。ここで、 $\alpha_{\max}$ 、 $\alpha_{\min}$ は、それぞれ波長 $\lambda_{\max}$ 、 $\lambda_{\min}$ での光増幅器の利得偏差を表

$$\alpha_{\max} = G_{\max} / G_0$$

$$\alpha_{\min} = G_{\min} / G_0$$

挿入間隔 $n$ を与え、第24式で得られる重み付け係数 $m$ を決定した場合、波長 $\lambda_{\max}$ と $\lambda_{\min}$ で光 $S/N$ 劣化は等しく波長多重信号の中で光 $S/N$ の最悪値となり、次

$$\Delta SN = (1 - \alpha_{\min}^n) / \{ (n-1) \alpha_{\min}^{n-1} (1 - \alpha_{\min}) \}$$

(27)

この第27式は、挿入間隔を最適化するための評価関数になる。

【0045】次に光利得等化器の挿入間隔を表す係数 $n$ を最適化するために、 $n$ のとりうる範囲について考える。係数 $n$ は2台の光利得等化器間の光増幅器の台数を表しており、この間には光ファイバでの伝送区間は $n-1$ 区間存在する。2台の光利得等化器間には、伝送区間は少なくとも1区間存在する必要があるので、 $n$ の最小の値は2となる。また係数 $n$ の最大値は光増幅器の利得偏差、光利得等化器の過剰損失により決定される。光増

$$2 \leq n \leq (\log L_0 - \log G_0) / (\log \alpha_{\min})$$

(28)

第27式の範囲で、全ての整数 $n$ に対し、第27式の光 $S/N$ 劣化を最小にする $n$ 、 $m$ を求めれば、最適に利得等化を行うことが可能である。

【0047】この利得等化の手順をフローチャートに従って説明する。図3は本発明の利得等化法を表すフローチャートである。

【0048】手順1では、 $n$ の初期値を与える。第28式で示される範囲の任意の整数 $n$ が許されるが、図3では、便宜上、 $n$ の初期値を2としている。次に手順2では $n$ に対する係数 $m$ を第24式によって求める。手順3では、この手順1、2で与えられる $n$ 、 $m$ に対する $\Delta S/N$ を第27式を用いて求める（なお、図3では $\Delta S/N$ と表記し、上記式では $\Delta S/N$ を $\Delta SN$ と表記しているが同じである）。

【0049】そして、手順4では、 $n+1$ が第28式の最大値を越えていれば、手順9へ、最大値以下であれば、次の $n$ についての手順2、手順3を行うために手順5へ分岐する。手順5では、 $n=2$ ならば手順7に分岐し、 $n \neq 2$ ならば手順6へ分岐する。手順6では、 $\Delta SN_{\min}$ と $\Delta SN$ とを比較し、 $\Delta SN < \Delta SN_{\min}$ ならば手順7に分岐し、 $\Delta SN > \Delta SN_{\min}$ ならば手順8へ分岐する。手順7では、 $\Delta SN = \Delta SN_{\min}$ 、 $n_{\min} = n$ 、 $m_{\min} = m$ とし、手順8に進む。手順8は $n = n+1$ とし、手順2に戻る。

【0050】手順9は、 $n+1$ が第25式の最大値を越えていない場合であり、 $n=2$ ならば手順10へ分岐し、 $n \neq 2$ ならば終了する。手順10は、 $\Delta SN_{\min} = \Delta SN$ 、 $n_{\min} = n$ 、 $m_{\min} = m$ とする。

【0051】このように、手順2から手順8を繰り返

しており、それぞれ次の第25式および第26式で表すことができる。

【0043】

(25)

(26)

の第27式で表すことができる。

【0044】

幅器の利得偏差により、利得が最小の信号は多段に接続された光増幅器によって利得が他の信号と比較し光パワーが減少する。このことと、利得等化器の過剰損失を $L_0$ とすると、波長多重された信号の中で光増幅器の利得が最小の波長を $\lambda_{\min}$ 、利得偏差を第26式のように $\alpha_{\min}$ とした場合、光利得等化器の出力は等化目標である第7式で与えられる光パワーとする必要があり、 $n$ は次の第28式の範囲の整数に限定される。

【0046】

し、とりうる全ての $n$ のうち、第27式の $\Delta SN$ が最小となる $n$ 、 $m$ を求めて、光増幅器と光利得等化器との配置を決定する。

【0052】図4に、最大、最小利得の利得偏差を $\alpha_{\min} = -0.5$  [dB]、 $\alpha_{\max} = 1$ とした場合の利得等化器の挿入間隔 $n$ に対する重み付け係数 $m$ と光 $S/N$ 劣化（ $\Delta SN$ ）を示す。 $n=7$ のとき、 $m$ は3.2で $\Delta SN$ は0.86 [dB]で最小となり、ほぼ劣化はなく、例えば、図7に示す24中継で等化しない場合と比較し、6 dB以上の光 $S/N$ の改善が見込まれる。

【0053】図5に、最大、最小利得の利得偏差を $\alpha_{\min} = -0.5$  [dB]、 $\alpha_{\max} = 1$ とした場合の利得偏差と光 $S/N$ 劣化を示す。実線は挿入間隔 $n$ と重み付け係数 $m$ を図4より得た、最適値の $n=7$ 、 $m=3.2$ とした。破線は、1段目の光増幅器への入力光パワーに重み付けを行わず、挿入間隔のみ最適化した場合を示す。入力光パワーに重み付けを行わない場合、利得が小さくなるに従い光 $S/N$ 劣化が大きくなるに比較し、重み付けによって最適化した場合、ほぼ光 $S/N$ 劣化は信号帯域にわたり平坦になっており、劣化の最悪値は1.1 dB改善される。

【0054】

【発明の効果】このようにして、波長多重信号の光増幅器1台あたりの利得偏差を知ることができれば、最適な利得等化を行うための指針を得ることができるため、試行錯誤的に最適化を図る従来技術に比べて、最適化に要する時間を大幅に短縮できる。これにより、光波長多重通信システムを構築する際の作業時間を短縮化することになり、システム設計を容易にすることができる。



【0055】また、本発明の最適化された光増幅器と光利得等化器との組み合わせにより、波長ごとに重み付けをして利得等化を行うことで、従来に比べて光信号対雑音比劣化の小さい光波長多重通信システムを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明が対象とする多中継光波長多重通信システムを示すブロック図。

【図2】重み付け係数 $m$ をパラメータとした際の利得偏差に対する光 $S/N$ 劣化を示す図。

【図3】本発明の実施例を説明するフローチャート。

【図4】本発明の実施例の係数 $n$ に対する係数 $m$ と光 $S/N$ 劣化を示す図。

【図5】本発明実施例の1段目の光増幅器への入力パワーを重み付けし最適化を行った場合と重み付けをしなかった場合の利得偏差に対する光 $S/N$ 劣化を示す図。

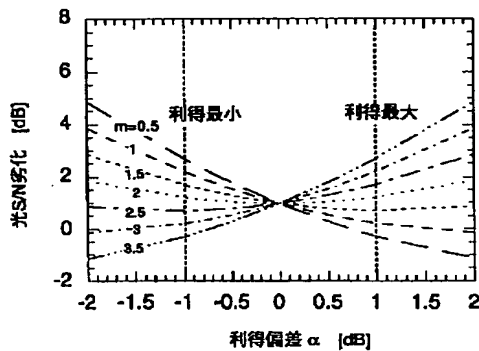
【図6】従来の光利得等化器を用いない多中継光波長多重通信システムを示すブロック図。

【図7】光利得等化器を用いない多中継光波長多重通信システムにおける光増幅器の利得偏差に対する光 $S/N$ 劣化を示す図。

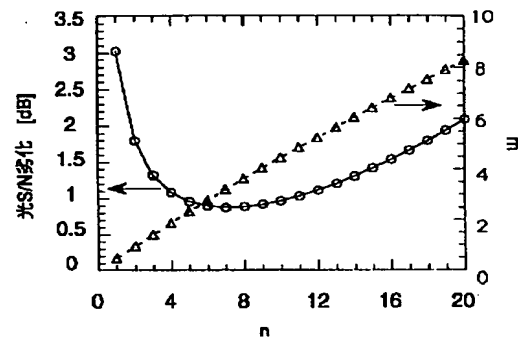
【符号の説明】

- 1 (1) ~ 1 (M) 光送信器
- 2 合波器
- 3 (1) ~ 3 (K)、3 1 (1) ~ 3 N (n) 光増幅器
- 4 (1) ~ 4 (K)、4 1 (1) ~ 4 N (n-1) 光ファイバ
- 5 分波器
- 6 (1) ~ 6 (M) 光受信器
- 7 1 ~ 7 N-1 光利得等化器

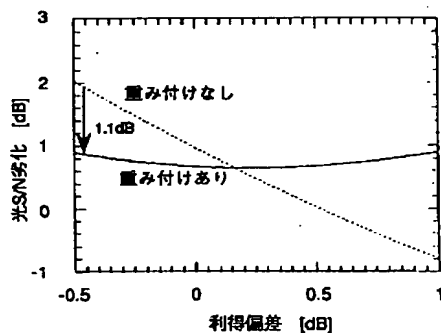
【図2】



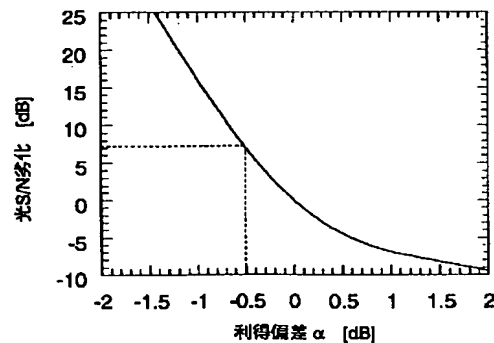
【図4】



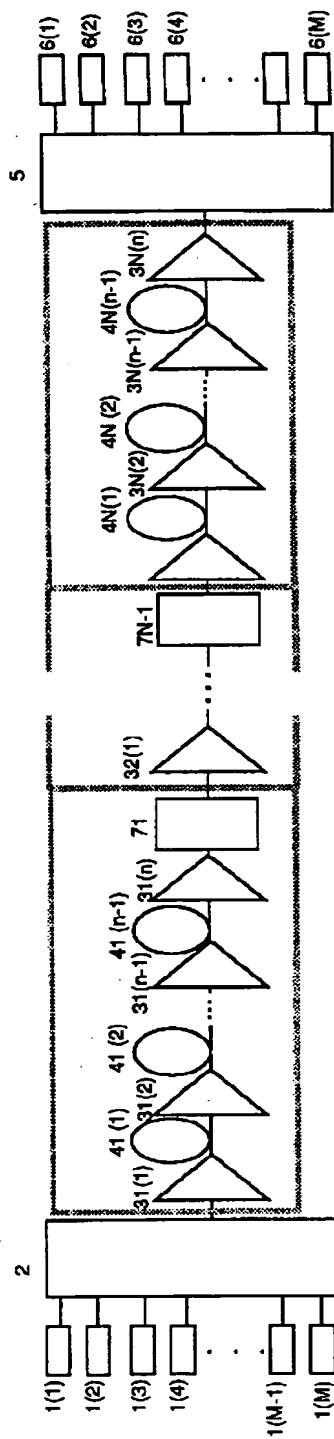
【図5】



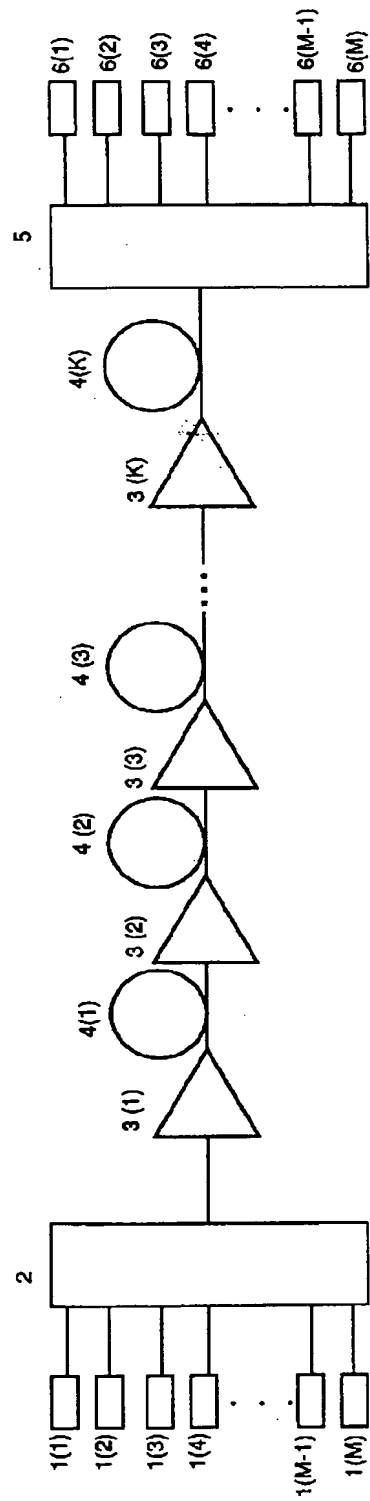
【図7】



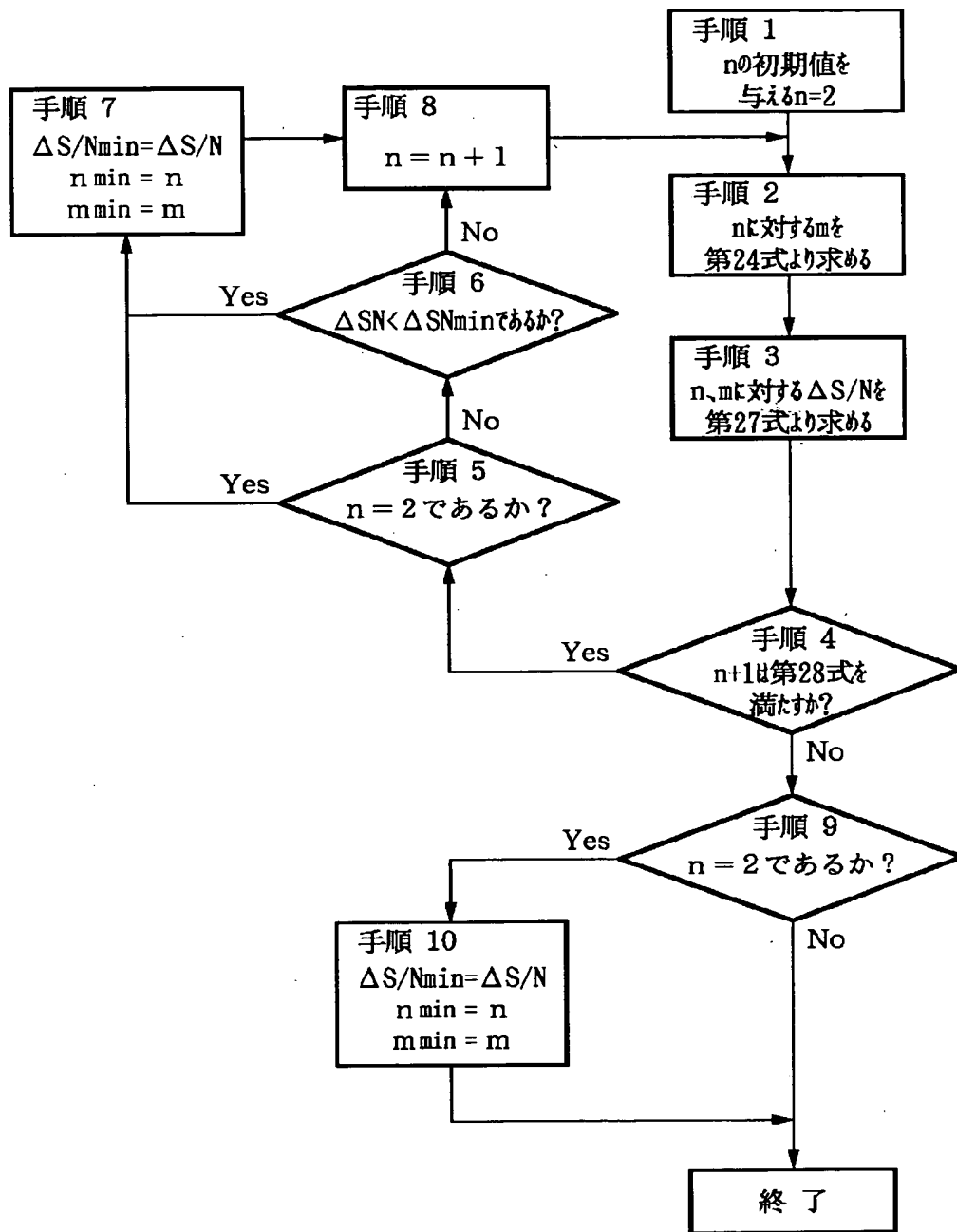
【図 1】



【図 6】



【図3】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 4 B 10/18